

Л. А. ЗУЕВ и В. И. ПОРУЧИКОВА
**ПРЕВРАЩЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА В СОЗРЕВАЮЩЕМ
ЗЕРНЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

(Представлено академиком А. И. Опариним 22 XI 1949)

Л. Ивановым (1) и В. К. Залесским (2, 3) было установлено, что в процессе созревания зерна в нем уменьшается доля неорганических фосфатов и растет фракция фосфорной кислоты органических соединений, растворимых в слабых кислотах. Главным представителем этих соединений оказался фитин.

Последующие работы других авторов, в сущности, не внесли ничего нового. Представлялось, что в зерно притекает неорганическая фосфорная кислота, которая, связываясь там, образует большей частью запасное вещество — фитин. Ряд промежуточных стадий выпадал из наблюдений, почему биохимическая роль поступающей в зерно фосфорной кислоты долгое время оставалась неясной, так же как и роль образующегося там фосфорного соединения — фитина.

В результате достижений биохимии последних лет, давшей схему превращения углеводов с участием фосфорной кислоты, открываются новые возможности изучения динамики фосфорных соединений и выясняется более тесная взаимосвязь между биохимическими процессами формирования урожая и условиями фосфатного питания растений.

В настоящей работе изучалось превращение фосфорных соединений в созревающих зернах яровой пшеницы. Одновременно велось наблюдение за отложением запасной формы углеводов — крахмала. Для исследования брались образцы яровой пшеницы Лютеценс 062 с полевого опыта Барыбинской опытной станции (под Москвой)*. Пробы брались с опытной делянки, получившей полное удобрение из расчета по 60 кг питательного начала на 1 га. I проба взята 1 VII (конец цветения), II—13 VII (молочная спелость), III—17 VII (начало восковой спелости), IV—31 VII (конец восковой спелости) и V—6 VIII (полная спелость). В пересчете на одно растение нарастание сухого веса зерна шло следующим образом:

Дата взятия пробы	1 VII	13 VII	17 VII	31 VII	6 VIII
Сухой вес зерна в мг на одно растение	6,2	63	112	182	201

В зерне определялось содержание фосфорной кислоты общей и с разделением по фракциям. Фракционирование начиналось экстракцией фосфатидов абсолютным спиртом. Затем шло извлечение фосфорных соединений, растворимых в слабых кислотах. Для этой цели применялся метод А. Л. Курсанова (4) с некоторыми отступлениями: экстракция без нагрывания 1% соляной кислотой; глицерин-фосфорная кислота от-

* Полевой опыт 1948 г. проводился Н. Н. Михалевым под руководством А. И. Поташева. Авторы выражают им свою благодарность за предоставление растений для исследования.

дельно не определялась. В остатке после извлечения кислоторастворимых соединений фосфора определялась фосфорная кислота, отнесенная во фракцию нуклеопротеидов. Во всех случаях определение фосфорной кислоты велось методом Дениже. Крахмал определялся по глюкозе методом Бертрана после кислотного гидролиза.

На рис. 1 изображена динамика форм фосфорных соединений в зерне в процессе созревания. Внизу отложено содержание фосфорной кислоты фракции нуклеопротеидов, а далее последовательно вверх отложе-

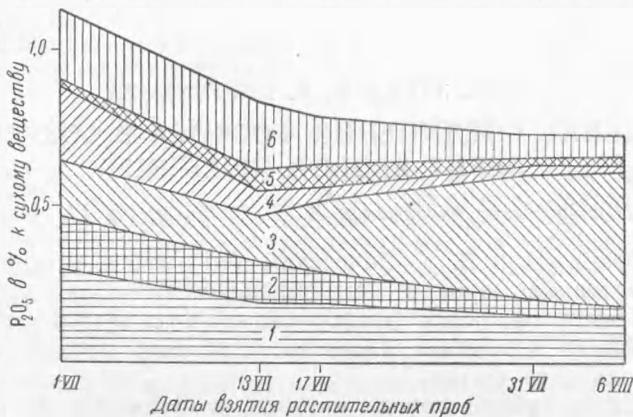


Рис. 1. Превращение форм соединений фосфора в созревающем зерне яровой пшеницы. 1— P_2O_5 нуклеопротеидов, 2— P_2O_5 фосфатидов, 3— P_2O_5 фитина, 4— P_2O_5 гексозодифосфата, 5— P_2O_5 гексозомонофосфатов, 6— P_2O_5 неорганических фосфатов

ны величины, характеризующие другие фракции. Таким образом, на рисунке расстояние между кривыми по оси ординат дает содержание фосфорной кислоты той или иной фракции, в сухом веществе семени, а расстояние между осью абсцисс и верхней кривой — содержание общей фосфорной кислоты. Наибольшее содержание общей фосфорной кислоты обнаружено в первой пробе (от 1 VII), которая характеризует начальный период развития зерна, поскольку бралась она в конце цветения. В ходе дальнейшего развития идет падение содержания фосфорной кислоты, резкое до начала восковой спелости и незначительное в дальнейшем.

Высокое содержание фосфорной кислоты в первой пробе может быть следствием того, что значительная часть ее притекает в зерно из стебля и колосовых чешуек в соединении с углеводами в виде гексозофосфатов и концентрируется в нем вследствие высокого расхода углеводов на интенсивно протекающие процессы дыхания. В то же время процессы, протекающие в период начального развития зерна, в свою очередь, требуют повышенного содержания фосфорной кислоты, что можно видеть из динамики распределения фосфорной кислоты по фракциям во время созревания. За исключением фракций фитина и гексозомонофосфатов, содержание всех остальных в первой пробе высокое.

Для начального периода развития зерна, когда должны интенсивно протекать дифференциация и деление клеток, связанные с усилением процессов дыхания, кажется вполне естественным повышение содержания фосфорной кислоты фракции нуклеопротеидов.

Нет достаточных оснований для суждения о фракции фосфатидов, поскольку биохимическая роль их слишком мало выяснена. О фосфорной кислоте фракции фитина будет сказано ниже. Что же касается фракции гексозофосфатов, то их динамика довольно рельефно отражает

смену интенсивностей процессов дыхания и отложения запасной формы углеводов.

В начальном периоде развития зерна обнаружен высокий процент фосфорной кислоты гексозодифосфата и относительно очень низкий процент гексозомонофосфата. К периоду молочной спелости соотношение изменяется до равенства между этими фракциями, а в период начала восковой спелости преобладает фракция гексозомонофосфатов.

В процессе отложения крахмала превращение углеводов пшеничного зерна с участием фосфорной кислоты ограничивается этапом гексозомонофосфатов, в то время как в процессе дыхания распад углеводов должен проходить через этап гексозодифосфата. Следовательно, на пути использования углеводов на дыхание должны быть представлены обе фракции как гексозодифосфата, так и гексозомонофосфатов, в то время как на пути отложения крахмала — только фракция гексозомонофосфатов. Аналитические данные, относящиеся к первой пробе, отражают

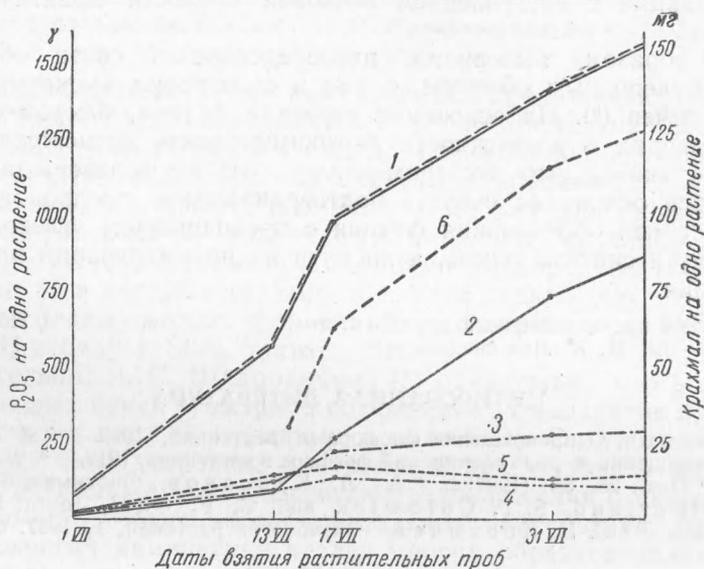


Рис. 2. Нарастание отдельных форм фосфорной кислоты и крахмала в созревающих семенах яровой пшеницы. 1 — общая P_2O_5 , 2 — P_2O_5 фитина, 3 — P_2O_5 нуклеопротеидов, 4 — P_2O_5 гексозофосфатов, 5 — P_2O_5 неорганическая, 6 — крахмал

интенсивно идущий процесс дыхания, причем видно, что форма гексозодифосфата более устойчива, чем монофосфатов. Из гексозомонофосфатов речь может идти только о глюкозо-6-фосфате, так как глюкозо-1-фосфат неустойчив. Отношение между этими формами в клетке складывается в пользу первой (95%) (5). Во фракцию гексозомонофосфатов попадают также и триозофосфаты.

К периоду молочной спелости и особенно к началу восковой спелости увеличивается процент фосфорной кислоты фракции гексозомонофосфатов, что, несомненно, отражает усиление синтеза крахмала. Подтверждение последнему можно видеть при сопоставлении данных рис. 1 и 2. На рис. 2 графически изображено накопление абсолютных количеств крахмала и фракций фосфорной кислоты в пересчете на одно растение. Максимальная интенсивность накопления крахмала (кривая на рис. 2) находится в прямой зависимости от повышения процентного содержания фосфорной кислоты фракции гексозомонофосфатов (рис. 1).

Фракция гексозодифосфата (рис. 1) уменьшается сначала очень резко, а затем остается на низком уровне, характеризуя тот процесс дыха-

ния, энергия которого необходима для синтетических процессов в созревающем зерне.

Процентное содержание неорганической фосфорной кислоты, как показывает рис. 1, резко падает в период интенсивного крахмалообразования, в то время как в ходе синтеза крахмала должно идти освобождение фосфорной кислоты:



Приведенная реакция обратима, но с правой стороны на равновесие оказывает влияние только фосфорная кислота. Следовательно, для одностороннего течения реакции вправо последняя должна выводиться из системы. Это и происходит в сопряженном процессе синтеза фитина. На рис. 2 сопряженность процессов передается параллельным ходом кривых абсолютного накопления в зерне крахмала и фосфорной кислоты фракции фитина. Абсолютное накопление фосфорной кислоты всех других фракций с наступлением восковой спелости практически прекращается.

Таким образом, выясняется непосредственная связь образования фитина с углеводным обменом, о чем в свое время высказывал мысль С. П. Костычев (6). На основании строения фитина, близкого к гексозам, он говорил о возможности фотохимического происхождения его. Однако он указал, что экспериментально это не подтверждается. Сейчас есть все основания считать подтвердившимся предположение Костычева о связи образования фитина с превращением углеводов, только не на пути синтеза гексоз, а на пути их полимеризации или другого превращения.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
14 X 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Иванов, О превращении фосфора в растениях, 1905. ² В. К. Залеский, Превращение и роль соединений фосфора в растениях, 1912. ³ W. Zaleski, *Ver. d. bot. Ges.*, 25, 58 (1907). ⁴ А. Л. Курсанов, *Биохимия*, 3, 467 (1938). ⁵ E. W. Sutherland, S. P. Colowick and C. F. Cori, *Journ. Biol. Chem.*, 140, 309 (1941). ⁶ С. П. Костычев, *Физиология растений*, 1, 1937, стр. 263.